中華農業研究（Jour. Agric. Res. China）42(2)：200～215（1993）

不織布浮動層覆蓋熱環境模式之研究[1]

陳加忠[2]　陳邦華[3]　曹之祖[2]

摘要：在此研究推衍不織布浮動層覆蓋設施之熱環境模式以預測設施內部之溫度。覆蓋物之傳導與對流熱傳係數利用部份之量測數據配合迴歸分析技術加以評估。模式之預測性十分合理，其準確度在1.5°C之內。影響覆蓋物內部溫度之主要因子爲大氣日照量，大氣溫度與風速。

關鍵詞：不織布、浮層覆蓋、熱環境模式。

爲改良農作物於冬日生長之環境，各種不同之農業設施普遍爲農民所應用，利用不織布覆蓋於作物之上即爲其中一例。美國自1981年將不織布作爲農業生產的被覆材料之後，由於不織布質料輕而通氣，不壓抑作物的生長，可直接覆蓋於作物上，無須立支柱，可節省人工，因此近十年來大量用於蔬菜生產上，尤其對於葫蘆科作物可達到調節產期之目的 ， 其作用爲保溫、防霜、防蟲、防鳥與防風等。

目前國內已有廠商以聚丙烯（Polypropylene）爲原料，製成連續長纖維之紡結不織布，其化學式爲$(C_3H_3)x$，基重有10、14、17、20、23、30、42與50g/㎡，可視栽培作物之種類而使用不同基重之不織布。不織布具有質輕、柔軟無毒、日光透過率高、熱量透過率低、日間保溫強、夜間能吸收紅外線、可防止溫度急降、有親水性、可吸水及透濕，故不致結露、滴水而發生冷害等特性。

農業設施對農作物栽培之影響研究項目已爲國內農業氣象之研究重點，因此已有豐富之參考文獻。如利用 PE 布隧道進行冬日苦瓜之栽培(1)，以高架式塑膠布設施進行檬果生產之影響(2)，或是探討不同栽培設施對洋香瓜生產之影響(3)。以不織布預防蔬菜冬日之寒害研究(4)，遮雨棚架對芥菜採種之應用)5)，與比較不同田畦覆蓋材料對甜椒生育之影響(6)等研究也在近年內開始著手執行。然而在大多數之設施應用研究中，有關微氣候之研究僅爲數據之收集與定性之敍述，對於設施內溫、濕度、日照量等微氣候因子與外界自然環境，設施自身條件之量化關係未曾加以建立。因此研究之結果僅能說明特定時間，地區下特定作物之生產狀況，缺乏普遍性之應用價值。國內在有關養殖池之生態研究中(7)，雖然曾利用迴歸技術建立溶氧量與氣溫，水溫及風速之迴歸模式，但因模式並非來自物理原理之推衍，而僅是由氣象資料之記錄結果加以計算而得，因此應用之價值上不大。

設施環境模式建立之目的如同溫室環境模式(8)：(一)量化外界大氣環境與設施自身條件（結構、材料……等）對內部微氣候之影響，(二)配合作物栽培條件做爲設施栽培之決策規劃。國內完整之溫室環境模式研究已完成建立與評估(8,9)，並推衍此型模式探討內外遮蔭對溫室內微氣候之影響(10)。

---
1. 臺灣省農業試驗所　研究報告第 1670 號。
2. 本所農工系副研究員、技士。
3. 本所農場管理室助理研究員。

國外對溫室內部微氣候模式之評論（Review）已有多篇[8]。在設施方面，以地面直接覆蓋（Mulch）之研究最爲完善，包含地面與地層之複雜傳遞現象均已建立模式並加以驗證[16,19]。在隧道型設施（Row Cover）研究方面[13,18]，包含與不包含地面覆蓋物之隧道型設施已利用熱傳原理建立模式，並對不含地面覆蓋之隧道型設施進行驗證研究[13]。

此研究之目的在於以浮動層不織布覆蓋設施（Floating mulches of non-woven fabrics）爲研究對象，進行其設施內部熱環境模式之推衍，並實際量測此型設施內外之氣象因子以驗證模式之符合性，並依模式探討影響浮動型不織布覆蓋栽培之主要因子。

環境模式之建立

此熱環境模式以日照量與溫度爲探討因子，相對濕度物性屬於質傳環境，在溫度之模式預測準確時即可依質量平衡原理加以推衍。

模式之參數條件如日照量、大氣溫度、地溫、風速等爲現地量測值，以符合本省不穩定氣候之狀況。

典型之不織布覆蓋微氣候熱環境系統如圖1所示，此系統之假設條件如下：

一、系統內溫度均勻分布，無熱力場梯度現象。

二、熱傳導，對流係數不因溫度而改變。

三、熱傳導係數爲定值，不因溫度、波長而改變。

四、僅考慮垂直方向一維熱傳系統，平面方向加以忽略。

五、系統內植物對熱系統之影響可加以忽略。

六、系統熱傳僅土壤熱傳遞與時間相關，傳遞爲垂直方向，空氣之溫度變化爲規定狀況。

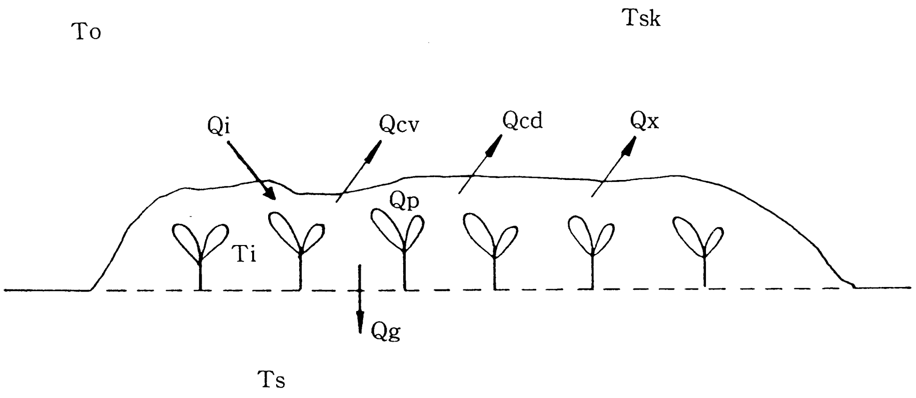

圖1. 不織布浮動型覆蓋熱環境系統

Fig. 1. Thermal environment system for floating mulches of the non-woven fabrics

熱環境系統之符號說明如下，能量應用單位爲 W/m²，溫度單位爲°C。

Q_i：進入設施內之太陽能量。

Q_{cd}：內部對外界之熱傳導能量。

Q_{ev}：內部對外界之熱對流能量。

Q_t：內部對外界之熱長波輻射能量。

Q_g：內部對地面之傳導能量。

Q_p：植物所利用之能量。

T_o：外界大氣溫度。

T_i：內部空氣溫度。

T_s：地底土壤溫度。

各項能量之計算公式如下：

1. Q_l：

$Q_l=\pi \cdot I_s \cdot A_f$ ……………………………………………………………… (1)

π：太陽能量穿透覆蓋物之部份，π為常數。

I_s：外界太陽能量（w/m^2）

A_f：地面面積（m^2）

2. Q_{cd}：

$Q_{cd}=UK \cdot A_\omega \cdot (T_i-T_o)$ ……………………………………………… (2)

UK：熱傳導係數，在不織布厚度一定之時，UK 之單位為 W/m^2，°C。

A_ω：周壁面積（m^2）

3. Q_{cv}：

$Q_{cv}=U_c \cdot A_\omega \cdot (T_i-T_o)$ ……………………………………………… (3)

U_c：熱對流係數，單位為 $W/m^2 \cdot °C$

4. Q_t：

$Q_t=\pi_t \cdot A_f \cdot \sigma \cdot (T_{ik}^4-T_{sk}^4)$ ……………………………………… (4)

π_t：長波熱傳係數（Thermal tranmittance）

σ：波茲蔓常數，$5.67*10^8$ $W/m^2 \cdot k^4$

T_{ik}：內部氣溫，單位（°K）

T_{sk}：天空溫度，單位（°K），其計算式利用 Albright 等人之研究[13]：

$T_{sk}=0.0552\ (T_{ik})^{1.5}$ ……………………………………………………… (5)

5. Q_g：

$Q_g=A_f \cdot GE(t)$ ……………………………………………………………… (6)

GE（t）：土壤熱傳量（W/m^2），為時間與日照量之影響函數。

$GE=K_g \cdot A_f * (T_i-T_s)$ ……………………………………………………… (7)

T_s：地層溫度，K_g：土壤熱傳導常數（W/m^2 C）

6. Q_p：

植物因呼吸作用，光合作用所利用之能量，在覆蓋設施生產時均加以忽略[13,16]依熱能平衡原理，設施內部之熱平衡系統量化模式為：

$Q_i=Q_{cd}+Q_{cv}+Q_t \pm Q_g$ ……………………………………………………… (8)

在模式應用中，熱對流係數，U_c 與外界風速之關係有如下之公式[14,18,19]

$U_{c1}=a_1$，a_1 為常數。 ……………………………………………………… (9)

$U_{c2}=b_1+b_2 \cdot V$ ……………………………………………………………… (10)

b_1、b_2 為常數，V 為風速（m/sec）

$U_{c3}=C_1 \cdot V^n$ ………………………………………………………………… (11)

$U_{c4}=C_2+C_3 \cdot V^n$ ……………………………………………………………… (12)

C_1，n 為常數，n 介於0.5～0.8之間。

代入公式（9）～（12）至公式（8），熱平衡系統模式之型式可歸納如下：

$$\pi \cdot I_s - d_1 \cdot K \cdot (T_i - T_o) - \pi_t \cdot \sigma \left[T_{lk}^4 - T_{sk}^4\right] - K_g \cdot (T_l - T_s) = 0 \quad \cdots\cdots (13)$$

$$\pi \cdot I_s - (e_1 + e_2 \cdot V) \cdot K \cdot (T_l - T_o) - \pi_t \cdot \sigma \left[T_{lk}^4 - T_{sk}^4\right] - K_g \cdot (T_l - T_s) = 0 \quad \cdots\cdots (14)$$

$$\pi \cdot I_s - (f_1 + f_2 V^n) \cdot K \cdot (T_l - T_o) - \pi_t \cdot \sigma \left[T_{lk}^4 - T_{sk}^4\right] - K_g \cdot (T_l - T_s) = 0 \quad \cdots\cdots (15)$$

$$K = Aw/A_f \quad \cdots\cdots (16)$$

由於公式（13）～（15）中包含 T_l 之四次項，無法以代數公式直接求解，此計算中利用數值分析 Bi-section 法計算未知數。

材料與方法

一、不織布材料

此研究所利用之不織布覆蓋材料共有兩種：17g/m²與30g/m²。原料爲聚丙烯。

二、作物栽植

此實驗自80年12月至81年3月於農業試驗所農場實施，種植作物爲莧菜，地面作畦，每畦寬約1.2 m。利用兩型不織布覆蓋材料平鋪於作物之上進行浮動型覆蓋栽培（Floating Covering Culture）。

三、微氣候量測

研究過程中量測大氣溫度，相對濕度，日照量（W/m²），風速（m/sec），地面溫度。覆蓋設施內空氣溫度，相對濕度，日照量，地面溫度。量測所用設備如下：

1. 氣溫、相對濕度：利用 Rotronic Hygrometer I-100 Transmitter，溫度感測元件爲 RTD PT-100 Ohm，濕度爲電容元件 Rotronic C-83-N 型。其輸出信號0-1V，相對於0-100°C，0-100% RH，並有太陽光遮蓋裝置（Shield），以避免熱輻射引起之量測誤差。
2. 地溫：利用熱電偶線（K-Type），其外面以金屬套筒包覆，構造與放置方式如文獻（22）所描述，量測點於地面下5公分處。
3. 日照量：利用 Eppley Radiometer（Moder 8—48）型日照計與 INS-TARI 型日射計，使用前皆加以校正[10]。輸出訊號爲 mv 值，經放大後輸入記錄器。
4. 風速：風速資料利用距離量測現場50m附近農業氣象觀測站之資料。
5. 數據記錄器：氣溫、相對濕度與日照量均由電壓記錄器（Ling-Shyh型，LS-ELR-48 Model）加以直接記錄，熱偶線溫度係利用 Data Logger Model 3020T 型加以記錄，製造廠商爲 ECD（Electron Controls Design INC.）

四、參數數值選擇：

此研究中熱環境模式（公式（13）～（15））中涉及之參數，有π，d_1，e_1，f_1，π_t 與 K_g 等，其數值之選擇，判定如下：

1. π：太陽能入射率（小數點），以實際量測值計算。

$$\pi = I_l/I_s \quad \cdots\cdots (17)$$

I_l：穿過不織布覆蓋物之日照量。

I_s：地面之日照量。

2. π_t：長波熱輻射係數，由 Kurata 氏[15]對不織布浮動式覆蓋之研究結果，30g/m² 不織布之 π_t 值爲 0.7，17g/m² 不織布之 π_t 值爲0.88。
3. d_1、e_1、f_1 與 K_g 值：

由於不織布之熱傳物性在傳導與對流係數方面無已知資料可加以參考，K_g 值之數據值因其影響因子極多，缺乏可靠之數據，此研究利用線性迴歸方式，評估此參數值[12,14]。其方法介紹如下：

(1)以所量測之微氣候數據任選三～四天之資料爲參數抉擇之用，提供爲統計技術迴歸分析數據。

(2)以上述1，2項所得之 π，π_t 值，配合微氣候之量測值，T_1k，T_{sk} 分別計算Q_t 值。

(3)由實測 A_f、Aw 值可計算 K=1.2。

(4)以公式（14）爲例，公式重新排列如下：

$$\pi I_s - Qt = (e_1 + e_2 V) \cdot K \cdot (T_1 - T_o) - K_g (T_1 - T_s) \quad \cdots\cdots (18)$$

令 $g_1 = K \cdot e_1$，$g_2 = K \cdot e_2$

每一實測點之數據可以迴歸方程式之形式表示：

$$Yi = g_1 \cdot X_{1i} + g_2 \cdot X_{2l} - K_g \cdot X_{3l} \quad \cdots\cdots (19)$$

$Yi = \pi I_{sl} - Q_{tl}$，$X_{1l} = (T_{1l} - T_{oi})$，$X_{2l} = V_l (T_{1l} - T_{2l})$，

$X_{3l} = (T_{1l} - T_{sl})$

$$Q_{tl} = \pi_t \cdot \sigma \cdot (T_{1k}^4 - T_{skl}^4) \quad \cdots\cdots (20)$$

公式（19）爲典型不包括常數項之線性迴歸方式式[17]。

(5)執行迴歸分析時，以實際量測值 I_s、V、T_1、T_o 與 T_s 值代入公式（19）與（20），可得到 Y_l、X_{1l}、X_{2l} 與 X_{3l} 值。

(6)利用線性迴歸技術，Y_l 爲他變數（Dependent Variables），X_{1l} 爲自變數（Independent Variables）以評估 g_1、g_2 與 K_g 之參數值與各種統計量如 t 值，S.E.（Standard Errors）值。

(7)利用相同技術，計算公式（13）與（15）之各參數值，公式（15）之 n 值分別代入0.5與0.8，並進行比較。

五、模式之比較與驗證：

模式之驗證工作中，利用迴歸分析抉擇模式參數之數據組與驗證用之數據組應彼此獨立，以避免僅是相同數據自身之歸納分析。因此在模式驗證比較中，曾用以進行參數評估所用之數據不再被用以驗證模式之符合性。

模式之符合性其比較基準介紹如下[20,21]

(一)定量方面：

1. 量測值（O_l）與預測值（P_l）之進行迴歸分析，並評估其統計量，完美之預測模式其迴歸係數斜率爲1.0，截距爲0。
2. 標準差：SE（Standard errors）
3. 平均誤差值：Da

$$D_a = \frac{\Sigma |Q_l - P_l|}{N} \quad \cdots\cdots (21)$$

SE，D_a 愈小，模式之符合性愈好。

(二)定性方面：

以量測值與預測值（或量測值）之相異量爲殘差量，描繪殘差對預測值之分佈關係，稱爲殘差圖。理想的殘差圖其特性爲沿 x 軸作均勻之分佈，不具規律性。其分佈帶愈窄代表量化之效果愈理想。

結果與討論

一、參數選擇值：

㈠日照能穿透率

日照能量穿透係數（π）經實測結果，其數值如下：

1. 30g/m² 不織布：$\pi_1=0.88$。

2. 17g/m² 不織布：$\pi_2=0.94$。

㈡熱傳遞係數

經迴歸分析評估係數之結果如下：

1. 30g/m² 不織布

(1)$I_s>150$ W/m²，適用迴歸方程式：

$Y_1=30.2\cdot X_1+4.16\cdot X_2$，再改寫爲：…… (23)

$Y_1=25.1\cdot K\cdot(T_i-T_o)+3.47\cdot K\cdot V\cdot(T_i-T_o)$ …… (24)

$Y_2=33.31\cdot K\cdot(T_i-T_o)+0.552\cdot K\cdot V^{0.8}\cdot(T_i-T_o)$ …… (25)

(2)$I_s<150$ W/m²，適用迴歸方程式：

$Y_3=6.83\cdot K\cdot V\cdot(T_i-T_o)$ …… (26)

2. 17g/m² 不織布

(1)$I_s>150$ W/m²

$Y_4=17.88\cdot K\cdot(T_i-T_o)+14.67\cdot K\cdot V\cdot(T_i-T_o)$ …… (27)

$Y_5=22.8\cdot K\cdot V^{0.8}\cdot(T_i-T_o)$ …… (28)

(2)$I_s<150$ W/m²

$Y_5=4.64\cdot K\cdot(T_i-T_o)$ …… (29)

由上述統計分析結果可知，土壤熱傳遞 Q_g 時項之數值：$K_g\cdot(T_i-T_s)$，在迴歸分析中因其係數 K_g 並無顯著性（由 t 檢定之結果），因此 K_g 係數並無存在之必要，換言之，土壤熱傳量在不織布浮動型覆蓋栽培時，可忽略此項熱傳。由實際之土溫與氣溫之量測值相差並不大之事實（通常3°C以內），可知土壤熱傳量佔總能量和之比例極小，因此可加以忽略。

二、適用模式之比較

對迴歸模式中，兩種不織布在大於150 W/m² 之大氣狀況下，其適用模式有公式（24）與（25），（27）與（28），利用任選之七天量測數據，比較模式預測能力之適用性如下：

㈠30 g/m² 不織布

1. 以公式（24）對驗證用數據加以進行適稱性分析，預測值（P）與觀察量測值（O）之分佈圖形如圖 2 a所示，殘差圖如圖 2 b。由殘差圖可知此模式定性方面適稱性良好。量化標準如下：

$O=2.56+0.89\cdot P$，$R^2=0.95$

SE=1.264，Da=1.04

2. 以公式（25）之驗證分析中，殘差圖分佈亦爲常態不具規律性，但其範圍較廣。

量化標準如下：

$O=2.78+0.87\cdot P$，$R^2=0.93$

SE=1.672，Da=1.331

由定量標準之比較可知，公式（24）預測能力優於公式（25），平均誤差值（Da）在1.1°C之內，預測標準差（SE）1.3°C以內。

㈡17 g/m² 不織布

1. 以公式（27）之驗證分析中，預測值對觀察量測值之分佈圖形如3a。殘差圖如圖3_b，具有

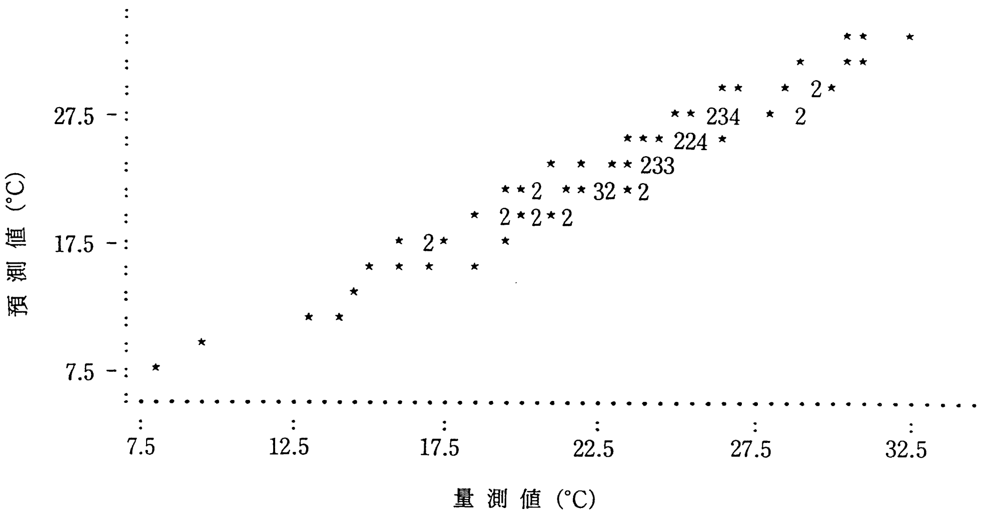

圖2a. 30 g/m² 材料公式 (24) 之預測值與量測值
(圖內數字爲重覆出現之數目)

Fig. 2a. The predictive values and measured values of the equation (24) for 30 g/m² fabrics

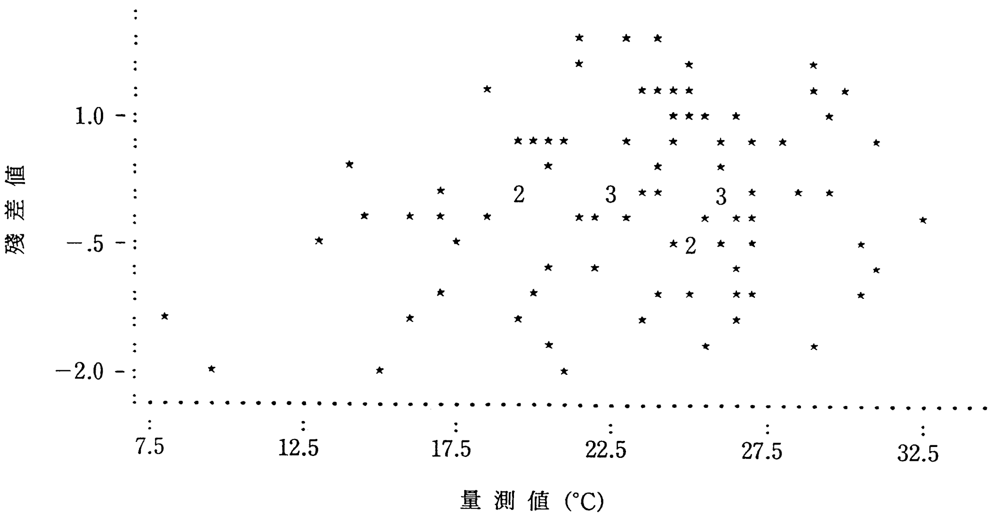

圖2b. 30 g/m² 材料公式 (24) 之殘差圖

Fig. 2b. The residual plots of the equation (24) for 30 g/m² fabrics

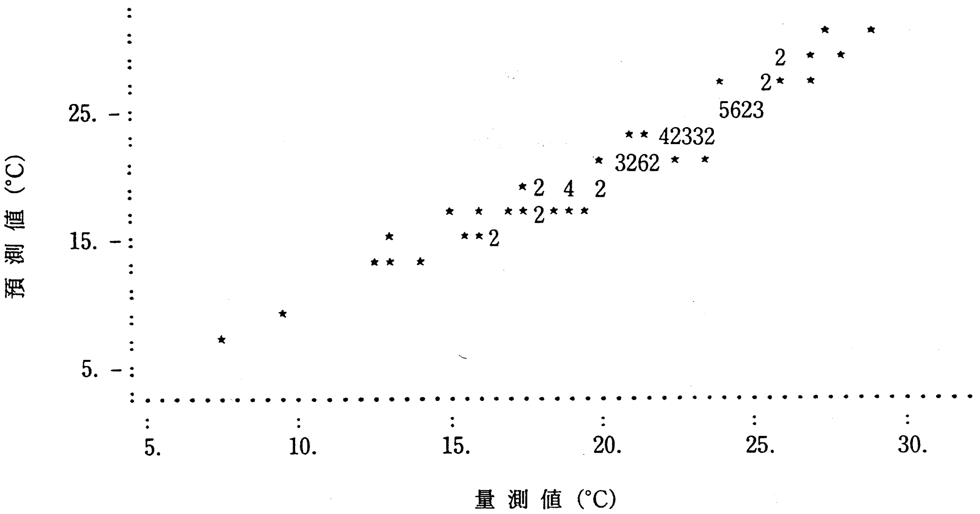

圖3a. 17 g/㎡ 材料公式 (26) 之預測值與量測值

Fig. 3a. The predictive values and measured values of equation (26) for 17 g/㎡ fabrics

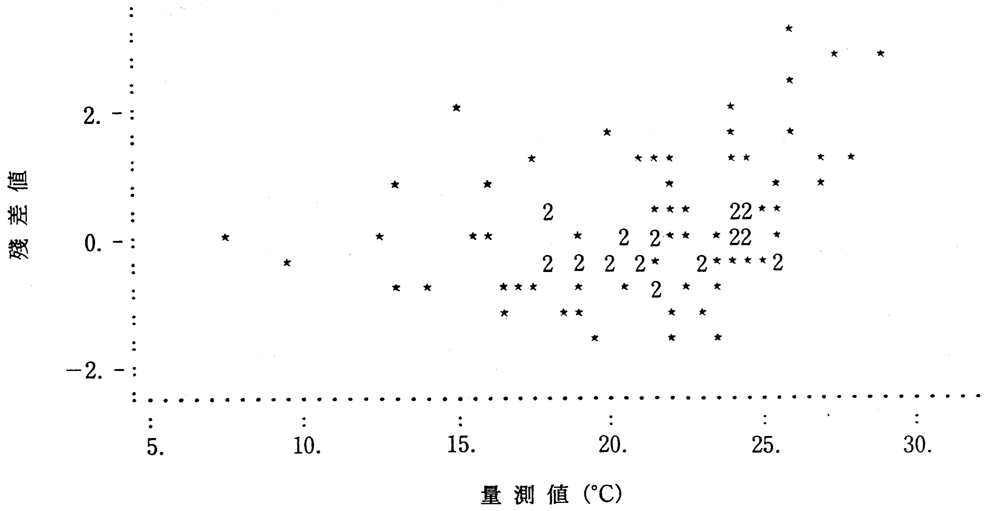

圖3b. 17 g/㎡ 材料公式 (26) 之殘差圖

Fig. 3b. The residual plots of the equation (26) for 30 g/㎡ fabrics

均勻分佈之特性。量化標準中，

$O=2.35+0.884 \cdot P$，$R^2=0.96$

SE＝1.01，Da＝0.76

2. 以公式（28）之驗證分析中，殘差圖具有均勻分佈之特性，定量標準計算如下：

$O=2.78+0.853 \cdot P$，$R^2=0.944$

SE＝1.261，Da＝0.971

由此可知公式（27）之預測能力優於公式（28）。

三、不織布浮動型覆蓋之熱環境模式

由模式之適稱能力比較中，不織布浮動型覆蓋之熱環境適用模式描述如下：

(一)30 g/m² 不織布

1. $I_s>150\ W/m^2$

$$\pi \cdot I_s \cdot A_f=25.1 \cdot A_w \cdot (T_i-T_o)+3.47 \cdot A_w \cdot V \cdot (T_i-T_o)+0.7 \cdot \sigma \cdot A_f \cdot [T_{ik}^4-T_{sk}^4] \quad (30)$$

1. $I_s>150\ W/m^2$

$$\pi \cdot I_s \cdot A_f=6.83 \cdot Aw \cdot V \cdot (T_i-T_o)+0.7 \cdot \sigma \cdot A_f \cdot [T_{ik}^4-T_{sk}^4] \quad (31)$$

(二)17 g/m² 不織布

1. $I_s>150\ W/m^2$

$$\pi \cdot I_s \cdot A_f=17.78 \cdot A_w \cdot (T_i-T_o)+14.67 \cdot A_w \cdot V \cdot (T_i-T_o)+0.88 \cdot \sigma \cdot A_f \cdot [T_{ik}^4-T_{sk}^4] \quad (32)$$

1. $I_s>150\ W/m^2$

$$\pi \cdot I_s \cdot A_f=4.64 \cdot Aw \cdot (T_i-T_o)+0.88 \cdot \sigma \cdot A_f \cdot [T_{ik}^4-T_{sk}^4] \quad (33)$$

由此可知影響不織布浮動型覆蓋內部溫度之主要因子爲大氣日照量，氣溫與風速，地面傳熱量並不顯著。

四、模式之驗證能力

(一)最高氣溫大於15°C

以典型三組冬日常溫下所量測之不織布覆蓋熱環境溫度數據，描繪其氣象資料與預測曲線如圖4a～4c。

圖4a 中，日照量因雲層影響而不穩定，當日氣溫於18～23°C之間，觀察值與預測值之符合性良好，30 g/m² 不織布覆蓋的保溫效果使內部溫度高於氣溫4～5°C，模式預測最大誤差約2°C。17 g/m² 不織布之保溫能力約2—3°C，預測最大誤差約1.5°C。

圖4b 中，大氣溫度起伏變化大，自18°C至28°C，因外界風力之作用，30g不織布之加溫效果約 3 — 5 °C，17 g/m² 不織布之加溫效果約 2 — 3 °C。模式之預測曲線符合量測值之變化情況。

圖4c 所示大氣情況爲晴朗之天候，太陽能量之分佈極具規則，氣溫自早上8°C昇至正午之15°C，此爲典型冬日寒流影響下之氣候，風速均在 2 m/sec 以內（未加以圖示）。30g/m² 材料之保溫能力高達 7 °C，17 g/m² 材料之保溫能力約 3 — 4 °C。環式之預測能力良好，誤差約在1.5°C以內。

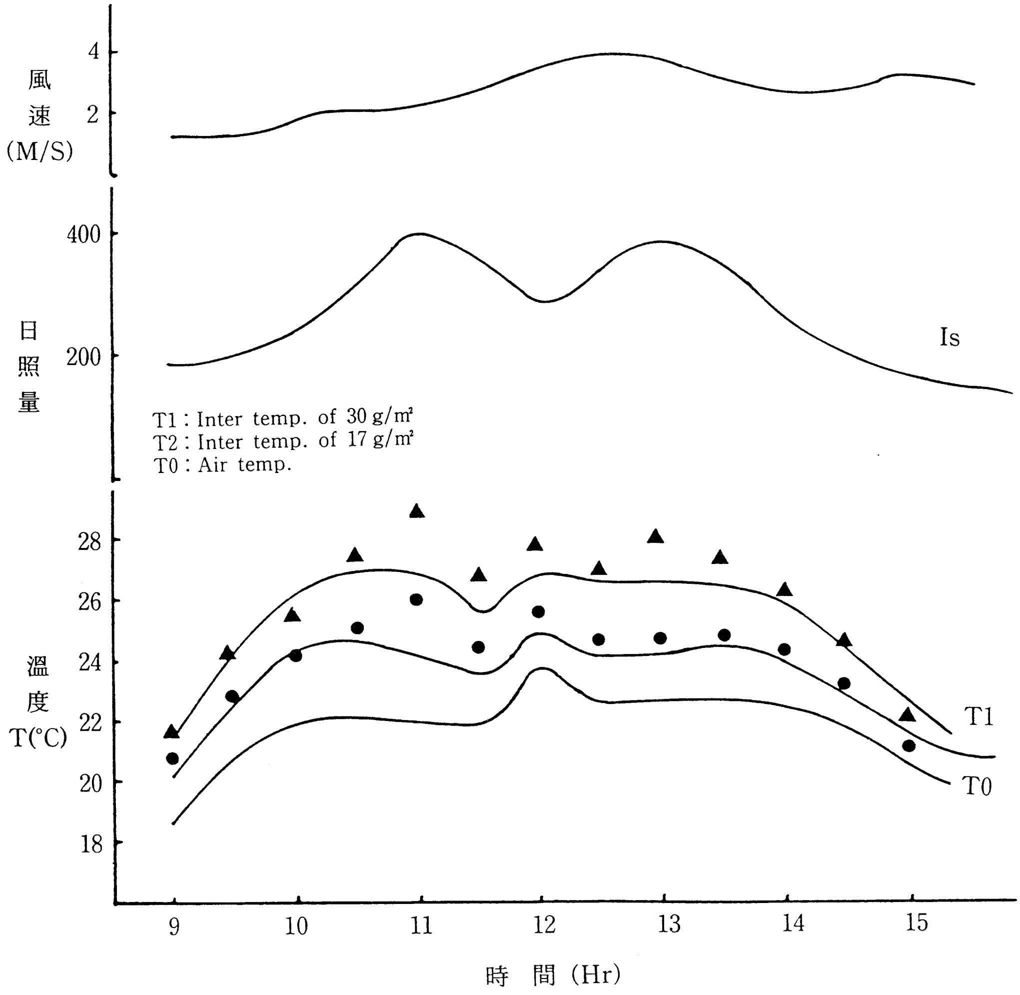

圖4a. 常溫時環境模式驗證

Fig. 4a. Verification of environment model at normal temperatures

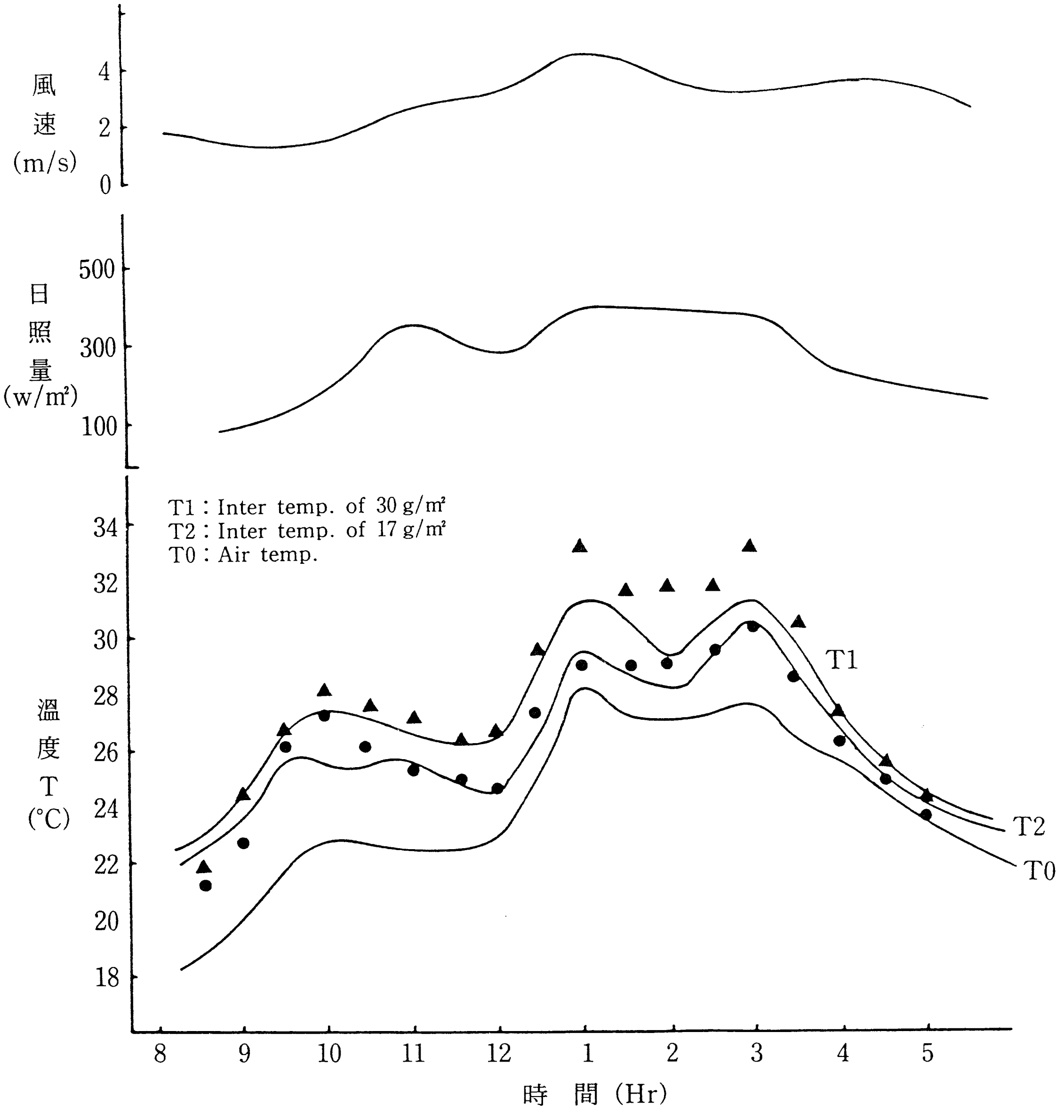

圖4b. 常溫時環境模式驗證

Fig. 4b. Verification of environment model at normal temperatures

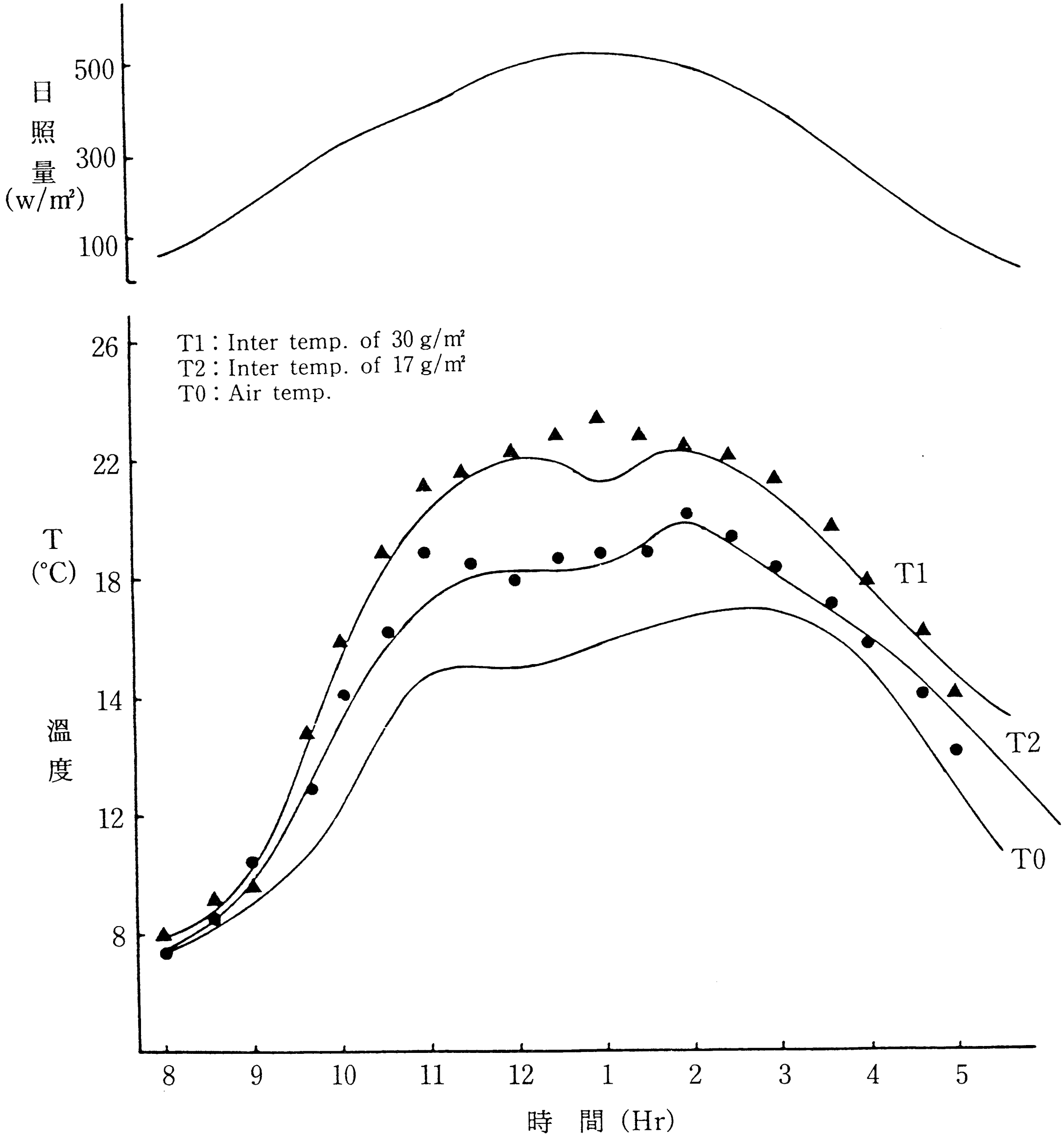

圖4c. 常溫時環境模式驗證

Fig. 4c. Verification of environment model at normal temperatures

(二)最高氣溫小於15°C

在寒流來襲且日照量不高時，氣溫受影響而無法昇高 。 圖 5a～5b 代表此種低溫天氣狀況。

圖5a 中當日之日照量皆低於200 W/㎡，最高氣溫低於14°C，風速在2.0m/sec 之內。30 g/㎡ 材料之保溫能力約有3～4°C，17 g/㎡ 材料之加溫能力約1～2°C，模式之預測能力對17 g/㎡ 之材料十分良好，但是對30 g/㎡ 材料而言，下午2～5時之間有高估現象，誤差在1.5°C左右。

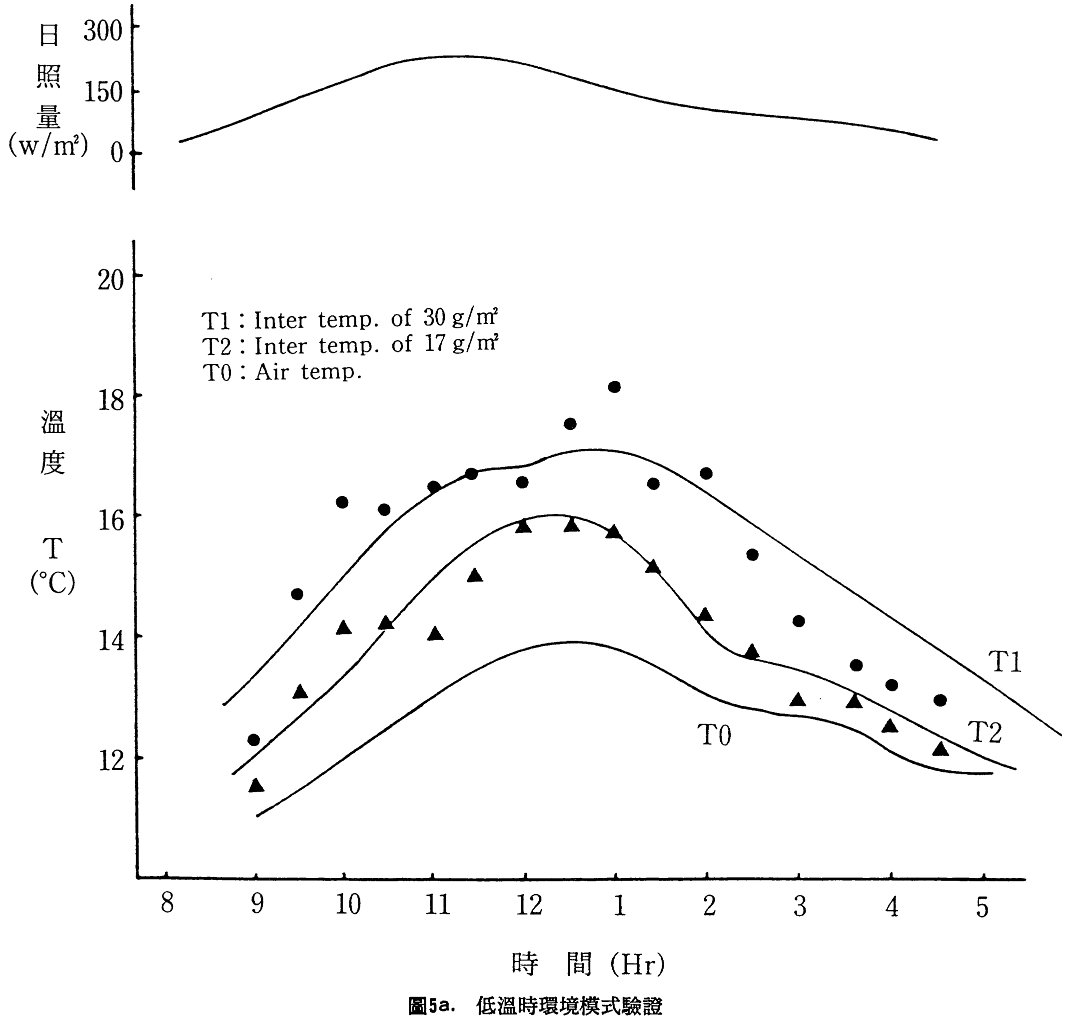

圖5a. 低溫時環境模式驗證

Fig. 5a. Verification of environment model at lower temperatures

圖5b 中，當日之日照量幾乎皆低於150 W/㎡，風速在2.0 m/sec 以上，大氣溫度在14～16°C之間。30 g/㎡ 不織布之保溫效果約高於氣溫2.5°C，17 g/㎡ 材料之加溫能力至1°C以內。30 g/㎡ 材料之模式預測有高估現象，但其誤差均低於1.5°C。

在低日照量下，30 g/㎡ 材料其預測模式有高估現象，其原因可能由於出自熱傳物性在低日照強度下與高日照度狀態下有所差異，需要更詳細之研究加以探討，但此模式在實際應用之

最大誤差約低於1.5℃，已合乎實用要求。

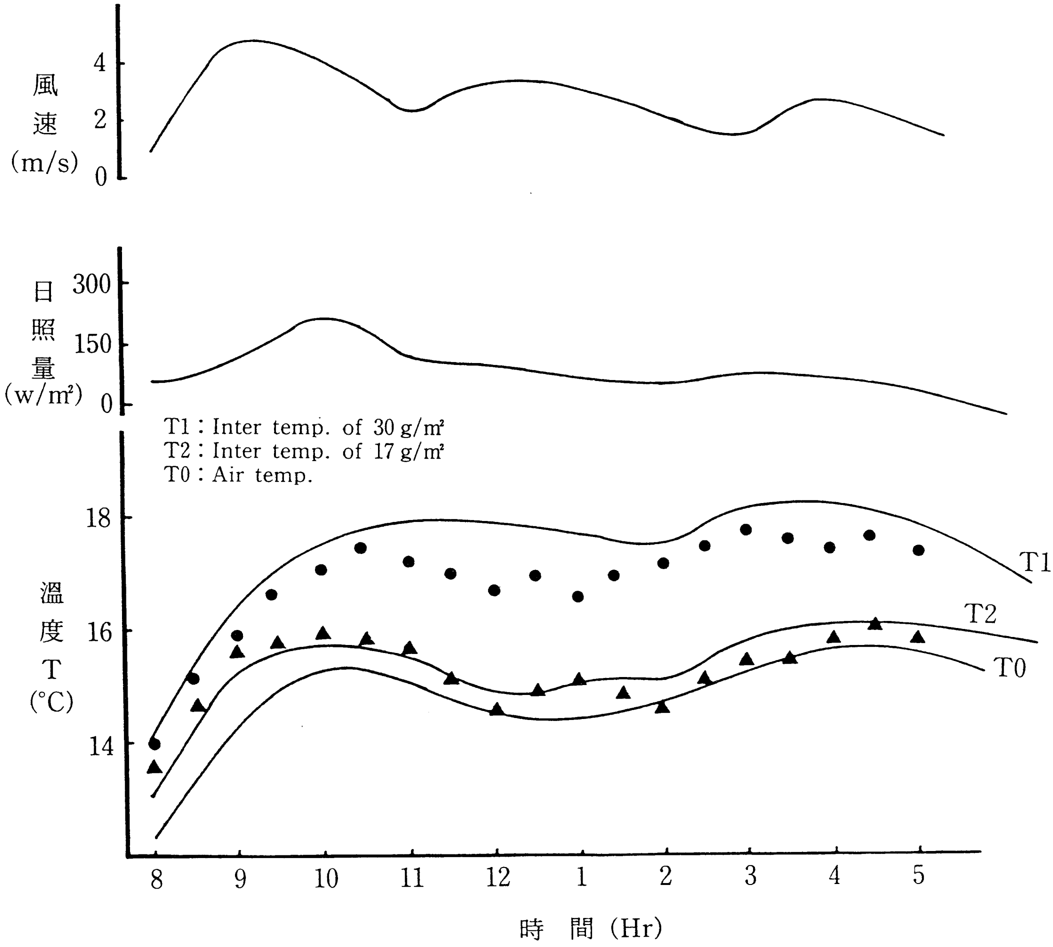

圖5b. 低溫時環境模式驗證

Fig. 5b. Verification of environment model at lower temperatures

五、模式之應用

由上述模式之建立與驗證結果可知，影響不織布浮動型覆蓋栽培內部溫度之主要因子爲大氣日照量，大氣溫度與風速。國內在設施研究中仍僅局限於氣象數據之記錄，而缺乏以量化模式建立其規律性，因此其推廣應用價值有限。經由熱傳原理建立之模式，由於有學理之依據，適用於不同氣候與不同材料之情況。其應用價值即在於此推衍性。對作物栽培而言，熱環境模式之應用價值如下：

(一)由各地區之氣候資料與不織布材料，可用以評估其浮動覆蓋微氣候氣溫之變化。如其他材料如20、23 g/m² 不織布，其溫度分佈即介於兩者之間。

(二)配合作物成長生理資料，栽培者可判斷何型材料可適用其栽培作物，或判斷此種設施栽培方式是否可行，因此可執行合理之生產規劃。

(三)配合作物病蟲發展模式，栽培者可用判別病蟲害發生之機率，發展程度與最適當之防治方式。

國內設施栽培除地面直接覆蓋與浮動型覆蓋之外，圓弧式隧道，高架隧道型與簡易遮雨棚栽培方

式之應用亦逐年增加，其適用模式亦需要建立，此研究方法可提供其他設施參考之用。

結　論

綜合以上研究結果，所得結果如下：

一、利用熱傳原理建立之不織布浮動型覆蓋栽培熱環境模式，其預測能力良好，誤差範圍爲±2°C，平均誤差在1.5°C之內。

二、配合統計之迴歸技術，可用以評估覆蓋材料之熱傳係數，此技術可應用於其他設施模式之研究。

三、影響此型設施栽培內部溫度之主要氣象因子爲大氣日照量，氣溫與風速。

四、配合作物成長資料，此模式可用以進行農作物浮動式不織布覆蓋栽培之生產規劃。

參考文獻

1. 洪進雄。1990。利用 PE 布隧道棚架栽培冬季苦瓜可行性之研究。嘉義農專學報　23：1—29。
2. 張明聰、黃杉茂、呂俊堅。1990。高架式塑膠布覆蓋對檬果生產之影響，臺南改良場研究彙報　25：91—99。
3. 楊之遠、曾文柄、李炳和、梁仁有、張佑芳、楊慧玉。1990。不同栽培設施對洋香瓜田微氣象環境及洋香瓜果實產量，品質之影響，中華農學會報新第一五三期：13—33。
4. 郭孚耀。1992。不織布在蔬菜生產上預防氣象災害之研究，臺灣地區農業氣象災害調查與資源應用研究報告專輯：28—33。省農林廳編。
5. 許啓誠。1992。北部高山坡地氣象因素對四川芥菜採種之影響。臺灣地區農業氣象災害調查與資源應用研究報告專輯：82—93。省農林廳編。
6. 楊之遠、李炳和。1992。顏色塑膠布與不織布覆蓋畦面對甜椒生育之影響。臺灣地區農業氣象災害調查與資源應用研究報告專輯：105—122。省農林廳編。
7. 謝介士、蔡雪眞、葉瑾瑜、蘇茂森。1992。氣象對養殖池生態環境之影響研究（I）。臺灣地區農業氣象災害調查與資源應用研究報告專輯：173—176。省農林廳編。
8. 陳加忠、陳志昇、黃照明。1992a。溫室環控模式之研究 I 、數學模式分析。中華農業研究　41（1）：79—89。
9. 陳加忠、陳志昇、黃照明。1992b。溫室環控模式之研究 II 、模式驗證與應用。中華農業研究　41（1）：90—114。
10. 陳加忠。1992。農用日照計之性能研究。中華農業研究　41（2）：124—132。
11. 陳加忠、陳志昇。1992。遮蔭裝置對溫室微氣候影響之研究。中華農業研究　41（4）：382—404。
12. Albright, L. D, I. Seginer, L. S. Marsh and A. Oko, 1985. In situ thermal calibration of unventilation greenhouses, J. A. E. R 31：265—281.
13. Albright, L. D, D. Wolfe and S. Novak. 1989. Modeling row cover effects on microclimate and yield：II. Thermal model and simulations. J. Amer. Soc. Hori. Sci.114：569—578.
14. Boulard, T and A. Baille, 1987. Analysis of thermal performance of a greenhouse as a solar collector. Energy in Agricultue. 6：17—26.
15. Kurata, K. 1991, View factors involved in radiation exchanges in floating mulches made of non-woven fabrics. J. A. E. R. 48：185—193.
16. Mahver, Y, O. Naot, E. Rawitz, and J. Katan, 1984. Temperature and moisture in soils mulched with transparent ployethylene. Soil Sci. Soc. Am. J. 48：362—367.
17. Myers, R, H. 1986. Classical and modern regression with applications, Boston MA：PWS and Kent Publishing co.
18. Novak, S. and L. D. Albright. 1985. Thermal environment model for plastic tunnel row covers. ASAE Paper No. 85—4050. St, Joseph, MI.
19. Sui, H. D, Zeng and F. Chen, 1992, A numerical model for simulating the temperature and moisture regimes of soil under various mulches. Agricultural and Forest Meteorology 61：281—299.

20. Welch, S. M, B. A. Croft and M. F. Michels. 1981. Validation of pest management models. Environmental Entomology 10 : 425—432.
21. Willmott, C, J. 1984. On the validlation of models. Physical Geography : 5 : 184—195.
22. 日本農業氣象學會關東支部，1985，農業氣象の測器よ測定法。農業技術協會。

Study on Thermal Environment Model for Floating Mulches of Non-woven Fabrics[1]

C. C. Chen[2], B. H. Chen[3] and C. T. Tsao[2]

Summary

An analytical thermal environment model is developed to predict the air temperatures under the floating mulches of non-woven fabrics. The values of conduction and convection transfer coefficient of these materials are evaluated by the partly measured data and regression analysis techniques. Reasonable agreement was found between the predicted values and the observed data. The accuracies of predict ability for the model was within 1.5°C. The effect factors for the inner temperatures of covers are the solar intensity, outside air temperature and wind speed.

Key words : Floating mulches, Non-woven fabrics, Thermal environmet model.

1. Contribution No. 1670 from Taiwan Agricultral Research Institute.
2. Associate Researcher, Junior Specialist.
3. Assistant Researcher, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan 413.